

PRAXE LASTUROVÝCH LOMŮ OCELÍ NA ODLITKY VE SLÉVÁRNÁCH A HUTÍCH

THE PRAXIS OF ROCK CANDY FRACTURE OF CAST STEEL IN FOUNDRY STEEL AND IRON WORKS

K. STRÁNSKÝ¹, T. PODRÁBSKÝ², L. STRÁNSKÝ³, F. KAVIČKA⁴

ABSTRAKT: Lasturové lomy ocelových odlitků jsou typem defektních lomů, které probíhají dutinovým mechanismem po hranicích primárních austenitických zrn. četné experimentální studie s využitím metod elektronové transmisní a rastrovací mikroskopie, elektronové a rentgenové difrakční analýzy a rentgenové spektrální mikroanalýzy prokázaly, že se na iniciaci lasturových lomů podílí nitrid hliníku vyloučený po hranicích primárních zrn a jejich šíření ovlivňuje také hliník rozpuštěný v tuhém roztoku. Lomy tohoto typu vznikají u litých i tvářených ocelí, nelegovaných i legovaných, při nepřiměřeně vysokých přísadách hliníku k dezoxidaci oceli a jsou k nim náchylnější odlitky o větších tloušťkách stěn.

ABSTRACT: The rock candy fracture it is a type of the defect fracture of the steel castings. The way of a creating of this rock candy fracture in the steel casting it is a dimple mechanism on the primary austenitic grain boundary. Many experimental studies by means of transmission and scanning electron microscopy, X – ray diffraction methods and X – ray spectral microanalyses were realized and demonstrated: – the initiation of the rock candy fraction begins on the aluminum nitride which is eliminated on the boundary of a primary austenitic grain; – the propagation of these defect fractures it is affected by means of aluminum and nitrogen in solid solution of matrix. This defect fractures are creating due to very high deoxidation of aluminum of the very thickness wall of steel casting.

KLÍČOVÁ SLOVA: lasturový lom, hranice primárních zrn, nitrid hliníku, hliník k dezoxidaci, dusík, tloušťka stěny odlitku

KEY WORDS: rock candy fracture, grain boundary, primary grain, alumina nitride, deoxidation aluminum, nitrogen, wall of steel casting

1 ÚVOD

Lasturový lom zmíněného typu je nejčastěji indikován na tahových zkouškách po normalizačním žhání a žhání ke snížení vnitřního napětí. Lom je provázen poklesem tažnosti; kontrakce a lomového napětí. Je rovněž známo, že s výskytem lasturového lomu je také spojeno snížení únavových charakteristik ocelí. Byl například zaznamenán únavový lom držáku zápustek z oceli o složení [hm.%]: 0,48 C, 0,72 Mn, 0,30 Si, 0,020 P, 0,018 S, 0,063 Al_{r.k} (hliník rozpustný v kyselině) a 0,0130 N_c (celkový obsah dusíku). Odlitek držáku o směrodatné tloušťce stěny – modulu R o hodnotě 2R = 28 cm měl za sebou přibližně 10⁶ zdvihů. Statisticky významný pokles životnosti spojený s

¹ Prof. Ing. Karel Stránský, DrSc. – Odbor kovových materiálů, ÚMVI, FSI, VUT Brno

² Prof. Ing. Tomáš Podrábský, CSc. – Odbor kovových materiálů, ÚMVI, FSI, VUT Brno

³ Ing. Lubomír Stránský, CSc. – Odbor kovových materiálů, ÚMVI, FSI, VUT Brno

⁴ Prof. Ing. František Kavička, CSc. Odbor termomechaniky a techniky prostředí, EÚ, FSI, VUT Brno

výskytem lasturového lomu byl zaznamenán také u silně dynamicky zatěžovaných litých dílů klikových hřídelů provozovaných v motorech vozidel T 815. Díly složeného klikového hřídele se porušovaly již po ujetí několika tisíc kilometrů.

Mikro i makromorfologie únavového lomu byla v předchozích případech shodná s typickou morfologií lasturového lomu. Elektronovou difrakční analýzou částic extrahovaných z lomové plochy byl ve spojení s vlnově disperzní rentgenovou spektrální mikroanalýzou těchto částic prokázán hexagonální nitrid hliníku, který je pro tento typ defektu charakteristický.

Na základě těchto statisticky ověřených případů lze odůvodněně soudit, že lasturové lomy jsou provázeny snížením prahové hodnoty amplitudy součinitele intenzity napětí (ΔK_{th} [MPa.m^{1/2}]). Sklon k tvorbě lasturových lomů je tedy spojen se snadnou iniciací únavové trhliny a též i s rychlejším šířením únavové trhliny. Exaktní měření iniciace a šíření únavových lomů v ocelích, které jsou implicitně náchylné k lomům lasturovým, nejsou doposud k dispozici.

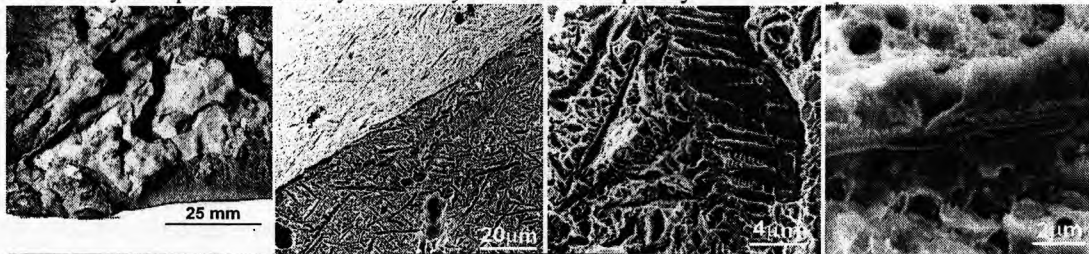
Tato vlastnost spojená s potenciálním výskytem lasturového lomu v tlustostěnných odlitcích může mít velmi nepříznivé důsledky v případě, že budou tyto odlitky během provozu cyklicky zatěžovány, jako je tomu například u odlitků ojnic, zárustek, ložisek, ozubených věnců, kladek aj. Nebezpečí spočívá ve snížení životnosti příslušného odlitku a tím ve vytvoření havarijního stavu. Přitom v masivních, pomalu tuhnuoucích a chladnoucích odlitcích se nitrid hliníku přednostně vylučuje po hranicích primárních austenitických zrn již při poměrně nízkých koncentracích hliníku určeného jako *hliník rozpustný v kyselině* – *Alr.k.* (při běžných obsazích dusíku v oceli $\approx 0,100$ hm.%).

V minulosti byly zaznamenány případy výskytu lasturových lomů na tahových zkouškách nelegovaných až nízkolegovaných ocelích i při velmi nízkých obsazích hliníku 0,036 až 0,026 hm.% *Alr.k.* Například na přilítých tělesech odlitku ojnice o celkové hmotnosti 9 800 kg a směrodatné tloušťce stěny odlitku $2R = 38,4$ cm, byl zjištěn po normalizaci lasturový lom při obsahu [hm.%]: 0,026 *Alr.k.* a 0,0109 *N_c*, přičemž základní chemické složení sestávalo v [hm.%] z 0,45 C, 0,72 Mn, 0,26 Si, 0,023 P, 0,027 S a 0,0096 *N_{r.k.}* Po normalizaci a žhání ke snížení pnutí měla ocel pevnost v tahu 637 MPa, mez kluzu 347 MPa, tažnost 23,2 % a kontrakci 33,3 %, při vrubové houževnatosti (*KCU 3*) 38,3 J.cm⁻².

Cílem tohoto příspěvku je blíže objasnit vztahy mezi obsahem hliníku a dusíku v ocelích na odlitky a tloušťkou stěny odlitků, které mají určující vliv na sklon ocelí k tvorbě lasturového lomu a nastínit způsob jejich praktického využití.

2 MORFOLOGIE LASTUROVÝCH LOMŮ

Vzhled lasturového lomu nízkolegované CrNiMo oceli na odlitku ve stavu po odlití je na obr. 1. Hranice primárních austenitických zrn jsou v tomto případě totožné s hranicemi dendritů, přičemž zřetelně vyniká poměrně hladký *lasturnatý* reliéf lomové plochy.



Obr. 1 CrNiMo ocel Obr. 2 Lasturový lom nelegované oceli na odlitky → zvětšení (REM)

Morfologie plochy lasturového lomu normalizačně žháné uhlíkové oceli je doložena na snímku z rastrovacího elektronového mikroskopu na obr. 2. Hranice primárních austenitických zrn nejsou u těchto ocelí totožné s hranicemi dendritů a jejich polygonální povaha je na snímku zřetelně patrná. Povrch lomu připomíná spíše *kameny*, než *lastury*. Při větším zvětšení lze na povrchu lomu pozorovat síť protáhlých, zdánlivě nahodile orientovaných jamek, nepravidelného, zčásti elipsového, ojediněle až kruhového průřezu, v detailu zobrazených až při větším zvětšení.

V těchto jamkách jsou uloženy částice (*filmy*) hexagonálního nitridu hliníku AlN ve tvaru četných velmi tenkých protáhlých destiček (obr. 3) s převládajícím plošným rozměrem.



Obr. 3 Extrakční uhlíková replika filmu nitridu hliníku v protáhlé jamce lasturového lomu (TEM)

V daném případě dosahuje délka fragmentovaných částic AlN v jamkách na povrchu lasturového lomu na obr. 2 a 3 až velkých desítek μm , avšak jejich šířka se pohybuje pouze kolem $0,5 \mu m$. Filmy nitridu hliníku jsou velmi tenké a paprsek elektronů při urychlovacím napětí 25 kV jimi částečně proniká (viz zobrazení na obr. 2).

3 KRITICKÝ OBSAH HLINÍKU VE VZTAHU K MODULU ODLITKU

Základní model sloužící ke kvantitativnímu objasnění vztahu mezi obsahem hliníku, tloušťkou stěny odlitku vyjádřenou prostřednictvím jeho modulu a výskytem lasturových lomů v nelegovaných ocelích na odlitky byl předložen v roce 1978. Autoři modelu použili výsledků mechanických a lomových zkoušek, chemických analýz a experimentů, které nezávisle na sobě získali Fremunt [1] ve Šmeralových závodech v Brně v roce 1962 a Levíček a Stránský ve slévárně oceli v závodě ČKD – Kutná Hora v letech 1971 až 1975 [2].

Při statistickém zpracování rozsáhlého souboru laboratorních, poloprovozních a provozních taveb nelegovaných ocelí a pro odlitky odlévané do pískových nesusušených forem, vycházeli autoři z předpokladu, že lasturové lomy se začínají vyskytovat při překročení kritické (mezí) koncentrace hliníku připadající na měrný povrch primárních austenitických zrn. Jako měřítko pro koncentraci hliníku byl přitom použit hliník rozpustný v kyselině, zahrnující hliník rozpuštěný v tuhém roztoku a hliník vázaný na nitrid hliníku.

Pro kritické množství hliníku byl odvozen [3] na základě dat poměrně jednoduchý vztah k modulu odlitku ve tvaru

$$[hm.\%Al_{r.k.}]_{cr} = \frac{0,26}{(2R_{cm})^{5/8}}, \quad (1)$$

v němž $2R$ je dvojnásobek modulu odlitku. poznamenejme, že platí $2R = t$, kde t je tloušťka odlitku ve tvaru desky (přesněji nekonečně široké desky). Vypočtené kritické množství hliníku rozpustného v kyselině přitom odpovídá asi 1/6 až 1/5 plochy lasturového lomu (tj. asi 17 až 20 %) na zkoušce meze pevnosti v tahu. Experimentální data byla získána u ocelí tavených v elektrických obloukových zásaditých a indukčních kyselých pecí. Moduly odlitků se pohybovaly v rozmezí $2R = (2,5 \text{ až } 25,0) \text{ cm}$, střední obsah uhlíku v ocelích činil $\approx 0,32 \text{ hm.\%}$ a obsah dusíku kolísal v okolí $0,0100 \text{ hm.\%}$. Tavby byly dezoxidovány pouze hliníkem a teplota normalizačního žhání byla 930°C .

Rovnice (1) umožnila posoudit nebezpečí výskytu lasturových lomů v odlitku dané tloušťky, resp. modulu. V modulu odlitku je implicitně zahrnuta velikost primárního austenitického zrna a tím také měrný povrch zrn ocelových odlitků odlévaných do nesusušených pískových forem. kromě jiného je nevýhodou rovnice (1), že nezahrnuje vliv dusíku. Předpokládá se obsah dusíku okolo 100 hm.ppm a konstantní vliv teploty normalizačního žhání – teplota normalizace 930°C .

Vztah pro výpočet kritického množství hliníku (1) se osvědčil při stanovení přípustné koncentrace hliníku v těžkých, dynamicky zatěžovaných odlitcích ojnic, spojek, držáků zápustek, stojanů, beranů, kol, vaček aj., u nichž se na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let 20. století vyskytovaly ve Šmeralových závodech v Brně lasturové lomy. Primární materiálově – technologická data vztahující

se k masivním, dynamicky zatěžovaným odlitkům s velkou tloušťkou stěn, které byly postiženy lasturovými lomy, jsou uvedena v tabulce 1.

Tabulka 1 Parametry výskytu lasturových lomů v těžkých ocelových odlitcích (Šmeral Brno)

Poř. číslo	Ocel podle ČSN (číslo tavby)	C hm. %	Al _{r,k} hm. %	N _c hm. %	2R cm	[Al _{r,k}] _{cr} hm. %	Odlitek
1	422660 (16 896)	0,47	0,030	0,0124	38,4	0,027	ojnice
2	422660 (22 027)	0,46	0,031	0,0092	38,4	0,027	ojnice
3	422660 (16 928)	0,45	0,026	0,0109	38,4	0,027	ojnice
4	422660*)	0,48	0,063	0,0130	29,8	0,031	držák zápustek
5	422660 (24 533)	0,48	0,032	0,0107	26,2	0,034	spodek upínače
6	422660 (23 733)	0,44	0,059	0,0158	22,8	0,037	ořech spojky
7	422709 (17 094)	0,26	0,052	0,0138	16,5	0,045	beran
8	422650 (22 686)	0,32	0,039	0,0158	15,6	0,047	ojnice
9	422643 (16 813)	0,25	0,034	0,0137	12,0	0,055	stožan
10	422709 (18 910)	0,23	0,085	0,0086	9,0	0,066	beran
11	422650 (17 048)	0,35	0,049	0,0120	8,0	0,071	beran
12	422669.5(84 551)	0,50	0,099	0,0070	17,0	0,044	vačka č. 1
13	422669.5(84 551)	0,50	0,096	0,0070	17,0	0,044	vačka č. 2
14	422660.5(21 070)	-	0,073	0,0152	8,5	0,068	kolo
15	422643.5(21 055)	-	0,036	0,0164	12,0	0,055	stožan
16	422643.5(21 050)	-	0,047	0,0107	12,0	0,055	stožan
17	422669.5(97 181)	-	0,065	0,0170	17,0	0,044	vačka
18	422660.5(20 251)	-	0,039	0,0099	17,3	0,044	držák zápustek
19	422660.5(26 788)	-	0,047	0,0119	19,3	0,041	spodek držáku
20	422660.5(88 851)	-	0,063	0,0138	16,9	0,044	svršek upínače
21	422660.5(20 845)	-	0,051	0,0115	19,3	0,041	spodek držáku

Poznámky: – [Al_{r,k}]_{cr} – kritická koncentrace hliníku podle rovnice (1); *) havárie držáku zápustek během provozu; I – indukční pec; tavba bez označení – oblouková pec zásaditá

Data o vzájemné korespondenci koncentrace hliníku, dusíku, modulu ocelového odlitku a výskytu lasturového lomu uvedená v tabulce 1 byla následně využita takto: a) k rozšíření rovnice (1) pro modul odlitku do 2R = 38,4 cm, b) ke stanovení mezní koncentrace hliníku v hotovém odlitku a ke korekci způsobu dezoxidace, který byl zahrnut do technologického předpisu tavení a c) k návrhu druhé varianty modelu tvorby lasturového lomu ve vztahu k obsahu hliníku, dusíku, modulu odlitku a k teplotě normalizace.

4 LASTUROVÉ LOMY TĚŽKÝCH ODLITKŮ VE VÍTKOVICÍCH, A.S.

Lasturové lomy byly v polovině devadesátých let dvacátého století sledovány také u velmi těžkých ocelových odlitků v ocelárně ve VÍTKOVICÍCH, a.s. Ocel na tyto těžké až velmi těžké odlitky se zde v této době vyráběla v zásaditých elektrických obloukových pecích s hmotností vsázky 50 až 70 t převážně jednostruskovou technologií s použitím různých postupů sekundární metalurgie (ohřev a odsíření v pánvové peci LF, aplikace vakuování aj.). Odlitky se přitom formovaly do sušených forem [4].

Parametry výskytu lasturových v těchto těžkých odlitcích, u kterých střední hodnota a směrodatná odchylka modulu odlitků byla (36,1±25,6) cm s maximem (2R) = 100 cm, jsou uvedeny v tabulce 2. V této tabulce je charakterizován materiál odlitku podle normy DIN, popřípadě normy ČSN, dále je v ní uvedena analyticky stanovená koncentrace hliníku Al_{r,k}, kontrolně stanovovaná koncentrace dusíku N_c, modul odlitku postiženého lasturovým lomem a také typ odlitku, jeho hmotnost,

popřípadě číslo tavby z níž byl odlitek odlit. V předposledním sloupci je uvedena kritická koncentrace hliníku $Al_{r,k}$ vypočtená pro modul příslušného odlitku podle rovnice (1) v textu. Odchytky v záznamech jsou vysvětleny poznámkami u tabulky.

Tabulka 2 Parametry výskytu lasturových lomů v těžkých odlitcích – VÍTKOVICE, a.s.

Poř. číslo	Ocel podle DIN, ČSN	Analyzováno		Modul 2R cm	Odlitek – hmotnost t (číslo tavby)	Vypočteno	
		$Al_{r,k}$ hm. %	N_c hm. %			$Al_{r,k}$ hm. %	θ_h^* °C
1	GS-30Mn5	0,0380	0,0080	55	saně-95	0,0212	1058
2	GS-30Mn5	0,0330	0,0116	50	nosný kruh-50	0,0225	1037
3	GS30CrNiMo6	0,0860	0,0104	25	ozubený věnec-20	0,0348	1141
4	42 2739.6	0,1275	0,0180	6	ploché články-0,2	0,0848	>1250
5	42 2724.6	0,1063	-	35	těleso vážení-6	0,0282	1209
6	GS-30Mn5	0,0598	0,0108	50	nosný kruh-50	0,0225	1094
7	GS-30Mn5	0,0486	0,0110	50	nosný kruh-50	0,0225	1070
8	42 2724.6	0,0810	-	15	těleso ložiska-2	0,0479	1109
9	GS-36Mn5	0,0294	-	70	kladka-20	0,0183	1074
10	GS-24MnNi5	0,0152	-	60	příčník-64	0,0201	930
11	GS-20Mn5V	0,0436	0,0073	30	spodní kryt-30	0,0310	1011
12	GS-36Mn5	0,0249	0,0082	100	kladka (6268)	0,0146	1113
13	42 2660.6	0,0739	-	15	kleština (7361)	0,0479	1076
14	42 2660.6	0,0587	-	15	kleština (7379)	0,0479	1010
15	42 2660.6	0,0699	-	15	kleština (7416)	0,0479	1059
16	42 2660.6	0,0699	-	15	kleština (7842)	0,0479	1059
17	GS-34CrMo4	0,0709	-	90	kladka (8919)	0,0156	1146
18	42 2724.6	0,0658	-	15	těleso ložiska (8934)	0,0479	1041
19	42 2724.6	0,0891	-	15	těleso ložiska (9044)	0,0479	1147
20	42 2724.6	0,0648	-	15	těleso ložiska (9066)	0,0479	1036
21	GS-20Mn5	0,0436	0,0073	30	spodní kryt (40355)	0,0310	1011
22	GS-20Mn5	0,0426	0,0080	30	spodní kryt (40307)	0,0310	1008
23	GS-20Mn5	0,0456	0,0070	30	náboj (?)	0,0310	1017

Poznámky k tabulce 2: *) Provozně byla ověřena teplota *opravného* homogenizačního žhání 1200 °C, s následnou normalizací, čímž byly lasturové lomy spolehlivě odstraněny;

a) u odlitků s pořadovými čísly 4 až 23 byl analýzou stanoven pouze obsah celkového hliníku – $[hm.\% Al_c]$, který byl přepočten na obsah hliníku rozpustného v kyselině – $[hm.\% Al_{r,k}]$ podle vztahu: $[hm.\% Al_{r,k}] = -0,0060 + 1,0118 \cdot [hm.\% Al_c]$, který byl stanoven korelací párových hodnot ($[hm.\% Al_{r,k}]$, $[hm.\% Al_c]$) prvních tří taveb, s indexem korelace $r = 0,9987$; b) u odlitků s pořadovými čísly 4 až 6 byl celkový obsah hliníku stanoven kontrolní analýzou vzorku odebraného přímo z odlitku; c) u odlitků zbývajících pořadových čísel, to znamená čísel 7 až 23, byl údaj o koncentraci celkového obsahu hliníku v odlitku převzat z testu příslušné tavby.

Výsledky uvedené v tabulce 2 zároveň ukazují, že rovnici (1) lze v prvním přiblížení použít k posouzení sklonu nelegované a nízkolegované oceli k lasturovým lomům až do modulu odlitků $2R = 100$ cm. K zamezení výskytu lasturových lomů je účelné řídit dezoxidaci oceli vzhledem k relativní tloušťce odlitků, tj. k modulu odlitků tak, aby koncentrace hliníku v hotovém odlitku byla pod jeho kritickou hodnotou vyjádřenou rovnicí (1).

Výskyt lasturových lomů lze také významně potlačit kombinovanou dezoxidací oceli na odlitky hliníkem a titanem, popřípadě též hliníkem a zirkoniem. Použití kombinované dezoxidaci hliníkem a titanem (ferotitanem) je však třeba velmi pozorně zvážit při odlévání velmi těžkých odlitků, neboť titan podporuje v těchto odlitcích sklon k trhlínám.

5 ZÁVĚR

Předpokládá se, že nebezpečí tvorby lasturového lomu je možno odstranit, anebo alespoň významně omezit tím, že dojde k rozpuštění částic nitridu hliníku AlN vyloučených po hranicích primárních austenitických zrn. Teplotu opravného homogenizačního žhání lze podle dat v knižní publikaci [3], vycházejících z citovaného modelu (1) kvalifikovaně odhadnout pomocí semiempirické rovnice

$$\ln(\theta_h) = 6,2125 + 9,0580 \cdot [hm.\%Alr.k.] + (0,1702 - 1,806 \cdot [hm.\%Alr.k.]) \cdot \ln[(2R)_{cm}], \quad (2)$$

v níž teplota opravného homogenizačního žhání θ_h odlitku postiženého lasturovým lomem je uvedena ve $^{\circ}C$. Vztah byl experimentálně ověřen pro teploty homogenizačního žhání do $(1200 \pm 10)^{\circ}C$ a moduly odlitků $2R \leq 35$ cm.

Doporučené hodnoty teplot opravného homogenizačního žhání souboru těžkých a velmi těžkých odlitků postižených lasturovými lomy z produkce slévárny oceli VÍTKOVICE, a.s., jsou uvedeny v posledním sloupci tabulky 2. Opravné homogenizační žhání je třeba doplnit žháním normalizačním, neboť vysoké teploty homogenizace jsou spojeny s hrubým druhotným austenitickým zrnem. Normalizace není nutná v případech, kdy jsou teploty opravného homogenizačního žhání nízké, jako je tomu například u odlitku příčnicku pořadové číslo 10 v tabulce 2.

V českých slévárnách oceli se problém výskytu lasturových lomů a nutnosti jejich řešení objevil jako naléhavý začátkem šedesátých let 20. století ve Šmeralových závodech v Brně, v první polovině sedmdesátých let ve slévárně oceli v ČKD Kutná Hora, začátkem osmdesátých let u těžkých odlitků opět ve Šmeralových závodech a v polovině osmdesátých let ve slévárně oceli TATRA v Kopřivnici ve vztahu k únavovým lomům. Konečně v polovině devadesátých let minulého století se problém výskytu lasturových lomů vynořil u velmi těžkých odlitků ve slévárně oceli ve Vítkovicích. Sporadicky se lasturové lomy vyskytovaly i v dalších slévárnách oceli, například v ocelárně Sigma Slatina a Poldi Kladno i jiných, avšak až na výjimky se nepodařilo získat pro zpracování spolehlivá provozní, technologická, laboratorní a další analytická data.

Dá se očekávat, že čas od času se budou objevovat lasturové lomy ve slévárnách oceli i v současnosti, zejména v těch případech kdy budou předmětem výroby masivní ocelové odlitky [5], [6] a [7]. Poněvadž technická literatura rychle stárne, bylo s odstupem doby pojednáno o problému lasturových lomů ocelových odlitků opět v širším praktickém pojetí.

Zpracováno díky podpoře projektů Grantové agentury České republiky reg. číslo 106/09/0969, 106/08/1243, 106/08/0606 a 106/09/0940

LITERATURA

- [1] FREMUNT, P.: Kamenitý lom. Slévárnictví 10, 1962, č. 6, s. 205-313.
- [2] LEVÍČEK, P., STRÁNSKÝ, K.: Odstranění lasturových lomů kombinovanou dezoxidací hliníkem a titanem. Slévárnictví, 19, 1971, č. 10, s. 406-409.
- [3] LEVÍČEK, P., STRÁNSKÝ, K.: Metalurgické vady ocelových odlitků (příčiny a odstraňování). SNTL, Praha 1984, 272 s.
- [4] STRÁNSKÝ K., BŮŽEK Z., MAZANEC K.: Lasturové lomy těžkých ocelových odlitků. Hutnické listy 53, č. 11, 1998, s. 24-27.
- [5] PODRÁBSKÝ, T., STRÁNSKÝ, K., NOVÁK, J.: Expertiza lasturových lomů – VUT, FSI Brno, ŽDAS, a.s. 2008.
- [7] Kavička, F. a kol.: Možnosti využití výpočtové analýzy teplotního pole ve slévárnictví a hutnictví. Slévárnictví 38, 1990, č. 9, s. 371-374.
- [6] ŠENBERGER, J., BŮŽEK, Z., ZÁDĚRA, A., STRÁNSKÝ, K., KAFKA, V.: Metalurgie oceli na odlitky. Vysoké učení technické v Brně – VUTUM, 2008, 310 s.